

**EFEK *UPSET FORCE* TERHADAP *ANISOTROPY* KEKUATAN
PUNTIR SAMBUNGAN LAS GESEK A6061 DENGAN *CHAMFER*
SATU SISI**

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**DAVID FEBRI ALFIAN
NIM. 125060201111018**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**EFEK *UPSET FORCE* TERHADAP *ANISOTROPY* KEKUATAN
PUNTIR SAMBUNGAN LAS GESEK A6061 DENGAN *CHAMFER*
SATU SISI**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DAVID FEBRI ALFIAN
NIM. 125060201111018

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 19 Januari 2017

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng
NIP. 19750710 199903 1 004



Dr. Eng. Widya Wiyavanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar- benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan makalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini didapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang- undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 19 Januari 2018

Mahasiswa,



David Febri Alfian

NIM. 125060201111018

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 048/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

DAVID FEBRI ALFIAN

Dengan Judul Skripsi :

EFEK UPSET FORCE TERHADAP ANISOTROPY KEKUATAN PUNTIR SAMBUNGAN
LAS GESEK A6061 DENGAN CHAMFER SATU SISI

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 06 FEBRUARI 2018



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Widyia Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

JUDUL SKRIPSI :

Efek *Upset Force* terhadap *Anisotropy* Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek A6061 dengan *Chamfer* Satu Sisi

Nama Mahasiswa : David Febri Alfian

NIM : 125060201111018

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Produksi

KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng.

Pembimbing 2 : Ir. Endi Sutikno, MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Ir. Ari Wahyudi, MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian : 08 Januari 2017

SK Penguji : 40/UN10.F07/SK/2018

*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada :
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Efek *Upset Force* terhadap *Anisotropy* Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek A6061 dengan *Chamfer* Satu Sisi”**.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya sebagai penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Ibu penulis, Bapak Akhmad Sofian dan Ibu Sulistiningtyas karena telah memberikan dukungan berupa materi, nasihat, semangat, kasih sayang kepada penulis serta doa sehingga skripsi dan perkuliahan ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Teguh Widodo, ST., M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
6. Almarhum bapak Ir. Endi Sutikno, MT. sebagai Dosen Pembimbing Skripsi II yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
7. Bapak Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract sebagai Dosen Pengamat yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
9. Mbak Lina dan seluruh pegawai dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu segala administrasi saat perkuliahan maupun saat skripsi.
10. Pak Rofiq, Mbak Lusti, dan pak Suhastomo yang telah banyak membantu dalam pengujian yang digunakan untuk proses skripsi ini.

11. Rekan, teman, sekaligus partner skripsi penulis, Zahid dan Riris yang banyak membantu skripsi penulis.
12. Badil, Alfian, dan Irvan yang banyak memberikan motivasi, informasi, dan bantuan kepada penulis.
13. Muchlis, Ndoy, Dimas, Iqbal, Hemas, dan Dheni yang banyak memberikan motivasi, referensi, dan bantuan kepada penulis.
14. Abdullah yang banyak memberikan motivasi dan informasi kepada penulis
15. Serta semua teman-teman penulis dan pihak yang telah ikut membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak mungkin penulis menyebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala amal kebaikan dari pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Penulis sangat mengharapkan masukan, saran, dan kritik dari berbagai pihak untuk membangun ke hal yang lebih baik lagi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, penelitian selanjutnya, dan juga bagi pembaca pada umumnya. Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY	ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Aluminium	5
2.2.1 Penggolongan Aluminium Paduan	6
2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium	7
2.3 Pengelasan.....	7
2.3.1 Definisi Pengelasan	7
2.3.2 Klasifikasi Pengelasan	7
2.4 Las Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	8
2.4.1 Definisi Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	8
2.4.2 Kelebihan <i>Friction Welding</i>	9
2.5 <i>Continuous Drive Friction Welding</i>	9
2.6 Pengujian Puntir	11
2.7 <i>Anisotropy</i>	12
2.8 Energi Input	13
2.9 <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	14
2.10 Hipotesa	15

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	16
3.2 Variabel Penelitian	16
3.2.1 Variabel Bebas.....	16
3.2.2 Variabel Terikat	16
3.2.3 Variabel Terkontrol	17
3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan	17
3.3.1 Spesifikasi Alat.....	17
3.3.2 Bahan	20
3.4 Instalasi Penelitian	21
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.5.1 Pengelasan Gesek	22
3.5.2 Pengujian Kekuatan Puntir	22
3.6 Diagram Alir Penelitian	23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Pengujian Kekuatan Puntir	24
4.2	Pembahasan	25
4.3	Hubungan Waktu Pengelasan terhadap Suhu Pengelasan dan Mikrostruktur Spesimen	30

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	32
5.2	Saran	32

DAFTAR PUSTAKA.....	x
---------------------	---

LAMPIRAN	xi
----------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik <i>Aluminum Alloys</i>	5
Tabel 2.2 Komposisi Kimia A6061	6
Tabel 2.3 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa.....	6
Tabel 3.1 Komposisi Kimia A6061	20
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut <i>Chamfer</i> dan Variasi <i>Upset Force</i> dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah Putaran Las (A)	24
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut <i>Chamfer</i> dan Variasi <i>Upset Force</i> dengan Arah Puntiran Searah Putaran Las (B)	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Las Gesek	8
Gambar 2.2	<i>Friction Stir Welding</i>	9
Gambar 2.3	<i>Continuous Drive Friction Welding</i>	10
Gambar 2.4	Parameter <i>friction welding</i>	10
Gambar 2.5	Panjang Lengan Alat Uji Puntir	12
Gambar 2.6	Skema Permukaan Spesimen yang Bergesekan	14
Gambar 2.7	Z_c (i), Z_{pl} (ii), Z_{pd} (iii), dan Z_{ud} (iv)	15
Gambar 3.1	Mesin Bubut	17
Gambar 3.2	<i>Vernier Caliper</i>	18
Gambar 3.3	Pompa Hidrolik	18
Gambar 3.4	<i>Thermogun</i>	19
Gambar 3.5	Mesin Uji Puntir	19
Gambar 3.6	Dimensi Benda Kerja (a) Spesimen yang berputar (b) spesimen yang diam (c) spesimen dengan <i>chamfer</i>	21
Gambar 3.7	Skema Alat Pengelasan Gesek	21
Gambar 3.8	Dimensi Benda Kerja Uji Puntir	22
Gambar 3.9	Alur Penelitian.....	23
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Variasi Sudut Tanpa <i>Chamfer</i> dan <i>Upset Force</i> terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah (A) dan Searah (B) Putaran Las	25
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara Sudut <i>Chamfer</i> 15° dan <i>Upset Force</i> terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah (A) dan Searah (B) Putaran Las	26
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara Sudut <i>Chamfer</i> dan <i>Upset Force</i> terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah (A) dan Searah(B) Putaran Las.....	27
Gambar 4.4	Foto Makro Sambungan Las Gesek A6061	29
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Waktu Pengelasan terhadap Suhu Pengelasan.....	30
Gambar 4.6	foto mikrostruktur dengan kekerasan tertinggi dan terendah pada sambungan las A6061	31

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Spesimen Hasil Pengelasan Gesek
- Lampiran 2. Spesimen Pengujian Puntir
- Lampiran 3. Patahan Spesimen Puntir
- Lampiran 4. Foto Makro Pada Sambungan Las Gesek
- Lampiran 5. Tabel Suhu Pengelasan Setiap Detik
- Lampiran 6. Manual Thermo Gun
- Lampiran 7. Surat Keterangan Pengujian Puntir di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang

RINGKASAN

David Febri Alfian, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2017, Efek *Upset Force* terhadap *Anisotropy* Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek A6061 dengan *Chamfer* Satu Sisi, Dosen Pembimbing : Yudy Surya Irawan dan Endi Sutikno.

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan karat, konduktor listrik yang cukup baik dan lebih ringan dari pada besi atau baja. Pada penelitian ini proses pengelasan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *friction welding* (las gesek), *friction welding* adalah proses pemanfaatan panas untuk penyambungan yang dihasilkan oleh gerak relative dari dua permukaan yang akan disambungkan.

Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan tanpa ada sumber panas dari luar, hal ini dilakukan untuk mengetahui *anisotropy* kekuatan puntir pada sambungan las gesek pada material A6061 dengan variasi *upset force* 7 kN, 14 kN, 21 kN dan sudut *chamfer* 0° dan 15°.

Hasil dari penelitian ini diperoleh nilai kekuatan puntir rata-rata tertinggi sebesar 68,32 MPa pada variasi *chamfer* 0° dengan *upset force* 21 kN dengan arah puntiran searah putaran las. Nilai kekuatan puntir rata-rata terendah sebesar 52,71 MPa pada variasi *chamfer* 15° dengan *upset force* 7 kN dan arah puntiran berlawanan arah putaran las.

pada spesimen dengan kekuatan puntir tertinggi dengan puntiran searah (A) dan kekuatan puntir terendah dengan puntiran berlawanan arah (B) memiliki *anisotropy* perbedaan kekuatan puntir sebesar 22,8 %. Didapatkan *anisotropy* kekuatan puntir antara spesimen dengan puntiran searah (A) dan berlawanan arah (B) dengan variasi sudut tanpa *chamfer* dengan perbedaan 4,3 %, dan pada *anisotropy* kekuatan puntir antara spesimen dengan puntiran searah (A) dan berlawanan arah (B) dengan sudut *chamfer* 15° dengan perbedaan 3,6 %.

Kata Kunci : *Friction welding*, Kekuatan Puntir, *Chamfer Satu Sisi*, *Anisotropy*, *Upset Force*

SUMMARY

David Febri Alfian, *Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in December 2017, The Effect Of Upset Force on Anisotropy of Torsion Strength Friction Welding Joint A6061 with One Sided Chamfer. Supervisor : Yudy Surya Irawan and Endi Sutikno.*

Aluminum and aluminum alloys include light metals that have high strength, corrosion resistance, good electrical conductor and are lighter than iron or steel. In this research the welding process is done by using friction welding, friction welding is the process of utilizing heat for connection resulting from the relative motion of the two surfaces to be connected.

This method utilizes a direct change of motion energy into heat energy for connection without any outside source of heat, this is done to know the anisotropy of torsion strength at friction welding joints on a6061 material with variation of upset force of 7 kN, 14 kN, 21 kN and chamfer angle 0° and 15°.

The results of this study obtained the highest average torsion value of 68.32 MPa on a variation of 0° chamfer with the upset force of 21 kN with the direction of twist in the direction of welding. The average value of the lowest torsion strength is 52.71 MPa on the 15° chamfer variation with 7 kN upset force and the twist direction in the opposite direction of the weld wound.

In the specimen with highest torsion strength with the same twist direction (A) and lowest torsion strength with opposite twist direction (B) has an anisotropy of torsion strength difference of 22,8 %. An anisotropy of torsion strength between specimen with same twist direction (A) and opposite twist direction (B) with a variation of chamferless angle with difference 4,3 % and in anisotropy of torsion strength between specimen with same twist direction (A) and opposite twist direction (B) chamfer angle 15° with difference 3,6 %.

Keywords : *friction welding, torsion strenght, one-sided chamfer, anisotropy, upset force.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan dunia perindustrian sudah mulai mempertimbangkan bahan dalam proses produksi menggunakan aluminium. Aluminium dan paduan aluminium merupakan logam ringan yang berkekuatan tinggi, tahan karat, lebih ringan dari baja, dan konduktor listrik yang baik. Penggunaan aluminium dalam industri banyak digunakan pada industri pesawat terbang, perkapalan, peralatan rumah tangga, peralatan listrik dan lain-lain.

Alumunium paduan memiliki kesulitan dalam proses pengelasan dalam pengelasan fusi, ini disebabkan salah satunya oleh konduktifitas panas tembaga yang mengakibatkan sulit mengkonsentrasikan pemanasan pada daerah lasan ketika dilakukan pengelasan menggunakan las busur atau las gas.

Metode yang dapat digunakan dalam mengatasi permasalahan ini adalah friction welding. pengelasan gesek (*friction welding*) adalah proses pemanfaatan panas untuk penyambungan yang dihasilkan oleh gerak relative dari dua permukaan yang akan disambungkan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan tanpa ada sumber panas dari luar. Pada kondisi normal tidak terjadi *melting* di permukaan material hingga terjadi gesekan pada permukaan kedua material tersebut. Mula-mula material dikondisikan berotasi pada kecepatan tertentu sedangkan material lainnya dalam kondisi statis namun diberikan gaya aksial menuju material yang berputar sehingga terjadi melting akibat panas yang timbul dari gesekan pada kedua permukaan material tersebut sehingga terjadi proses penyambungan. (Elmer, ASM Handbook Vol. 06, 1993)

Beberapa keuntungan las gesek dibandingkan dengan proses pengelasan lain yaitu diantaranya tidak memerlukan *filler metal*, fluks/selaput las, dan *shelding gas* saat proses pengelasan, tidak memberikan dampak bahaya bagi kesehatan karena tidak memiliki radiasi yang ditimbulkan dan tidak menggunakan listrik bertegangan tinggi. Keuntungan lainnya dari pengelasan gesek adalah biaya yang terjangkau dan energi yang dikeluarkan pada saat melakukan pengelasan yang kecil. (Tsang, ASM Handbook Vol. 06, 1993)

Berikut parameter penting pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) yaitu friction time, rotational speed, friction pressure, *upset time*, dan *upset load*. Parameter-parameter tersebut akan berpengaruh terhadap sifat mekanik pada hasil sambungan las gesek, kekuatan tarik dan sambungan akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu

gesekan dan tekanan yang diberikan ketika pengelasan. Semakin besar putaran maka kekuatan tarik akan semakin meningkat sampai kecepatan maksimum dan besarnya gaya tekan sebanding dengan kekuatan tarik. Penggunaan gaya tekan akhir pada spesimen pengelasan gesek berpengaruh terhadap kekuatan puntir.

Pada penelitian yang dilakukan Tyagita dkk (2014) mendapatkan hasil bahwa Semakin menurunnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir akan meningkatkan kekuatan puntir pada pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si, dan Porositas kemudian menurun dengan semakin menurunnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir.

Pada penelitian yang dilakukan Amirullah dkk (2014) dengan judul “pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time* terhadap kekuatan puntir pada sambungan las gesek al-mg-si” didapatkan bahwa kekuatan puntir tertinggi sambungan las gesek dengan *friction time* 90 detik tercapai pada sudut *chamfer* 11,5° yaitu 145,71 Mpa dan kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 45° sebesar 98,22 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan puntir sambungan las gesek dibandingkan dengan kekuatan puntir sambungan las gesek dengan *friction time* 90 detik dengan sudut yang lebih besar.

Pada penelitian ini digunakan material aluminium A6061. Dari beberapa hasil penelitian diatas masih belum diketahui pengaruh Efek *upset force* terhadap *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh Efek *upset force* terhadap *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi. Untuk menghitung *anisotropy* kekuatan puntir, kekuatan puntir saat arah dipuntir dengan momen puntir yang berbeda akan dilihat sama tau tidak, jika kekuatan puntir sama maka struktur pada specimen berarti homogen dan specimen baik untuk desain dan keselamatan produk.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah dijabarkan, didapatkan rumusan masalah yang diteliti yaitu : Efek *upset force* terhadap *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu A6061
2. Temperatur ruangan saat dilakukan pengelasan gesek yaitu 27° C.
3. Mesin bubut yang digunakan dalam kondisi baik dan telah terkalibrasi
4. Proses pendinginan pada sambungan las dilakukan pada suhu ruangan

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui Efek *upset force* terhadap *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini bisa didapatkan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai acuan untuk pengembangan las gesek dalam dunia industri
2. Menjadi perantara dan sumber informasi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan las gesek (*friction welding*)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Santoso, E. B, Irawan, Y. S dan Sutikno, E (2012) Dari hasil penelitian yang berjudul “Pengaruh Sudut *Chamfer* Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si” didapatkan bahwa Prosentase porositas akan bertambah besar bila sudut chamfernya semakin kecil. Prosentase porositas terbesar didapatkan pada sudut 30° dengan gaya tekan akhir sebesar 157 kgf, secara rata rata di dapat pada gaya tekan akhir 157 kgf mempunyai prosentase porositas sebesar 0,215 %, 185 kgf mempunyai nilai prosentase porositas sebesar 0,217% dan pada gaya tekan akhir 213 mempunyai prosentase porositas sebesar 0,215%

Tyagita, D. A, Irawan, Y. S dan Suprpto, W (2014) dengan judul “Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek AlMg-Si dengan Variasi Chamfer dan Gaya Tekan Akhir” mendapatkan hasil bahwa Semakin menurunnya sudut chamfer dan semakin besarnya gaya tekan akhir akan meningkatkan kekuatan puntir pada pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si, dan Porositas akan menurun dengan semakin menurunnya sudut chamfer dan semakin besarnya gaya tekan akhir.

Amirullah, M., Irawan Y.S, Oerbandono, T (2014) dengan judul “pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time* terhadap kekuatan puntir pada sambungan las gesek al-mg-si” didapatkan bahwa kekuatan puntir tertinggi sambungan las gesek dengan *friction time* 90 detik tercapai pada sudut *chamfer* $11,5^\circ$ yaitu 145,71 Mpa dan kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 45° sebesar 98,22 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan puntir sambungan las gesek dibandingkan dengan kekuatan puntir sambungan las gesek dengan *friction time* 90 detik dengan sudut yang lebih besar.

Irawan, Y.S, Amirullah, M., Gumilang, G. B. D., Oerbandono, T., Suprpto, W. (2016) dengan judul “*Torsion Strength of Continuous Drive Friction Weld Joint of Round Bar Aluminum A6061 Affected by Single Cone Geometry of Friction Area*” didapatkan bahwa kekuatan torsi maksimum terjadi pada spesimen dengan rasio $D1 / D2$ 0,2 karena area yang lebih luas dari zona ZPL, ukuran butir lebih kecil dan Mg2Si mengendap di zona ZPL dan ZPD dan nihil atau porositas minimum pada sendi CDFW.

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, tahan karat dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik (Wiryosumarto, 2000:113). Aluminium sendiri ditemukan oleh Friedrich Wöhler pada tahun 1827, Aluminium terdapat pada permukaan bumi dalam bentuk senyawa kimia yang disebut bauksit dengan komposisi yang terdiri atas tanah tawas, aluminium oksida, besi oksida dan asam silikat.

Aluminium tergolong ringan karena memiliki (berat jenis = $2,7 \text{ gr/cm}^3$) dibandingkan dengan baja (berat jenis = $7,8 \text{ gr/cm}^3$), serta memiliki keuletan yang cukup tinggi, karena hal ini lah aluminium banyak digunakan dalam dunia perindustrian. Aluminium dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Berikut adalah data sifat fisik aluminium yang dapat dilihat pada table 2.1

Tabel 2.1 Sifat Fisik *Aluminum Alloys*

Aluminum Alloys	Density		Heat Capacity		Thermal Conductivity		Thermal Diffusivity	
	g/cm ³	lb/in ³	j/kg K	cal _{ir} /g.°C	w/m.K	cal _{ir} /cm.s.°C	mm ² /s	cm ² /s
1100	2,71	0,098	963	0,23	222	0,53	85	0,85
2014	2,80	0,101	963	0,23	193	0,46	71	0,71
5052	2,68	0,097	963	0,23	138	0,33	54	0,54
6061	2,70	0,098	963	0,23	172	0,41	66	0,66
7075	2,80	0,101	963	0,23	121	0,29	45	0,45

Sumber : Eagar, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Tabel 2.2 Komposisi Kimia A6061

Paduan	Kandungan (%)
Alumunium (Al)	96,9
Silikon (Si)	0,369
Besi (Fe)	0,160
Tembaga (Cu)	0,167
Mangan (Mn)	0,020
Magnesium (Mg)	0,0906
Krom (Cr)	1,83
Nikel (Ni)	0,0214
Seng (Zn)	0,342
Timah (Sn)	0,050
Titanium (Ti)	0,0138
Timbal (Pb)	0,030
Berilium (Be)	0,0002
Kalsium (Ca)	0,0033
Stronsium (Sr)	0,0005
Vanadium (V)	0,010
Zirkonium (Zr)	0,003

Sumber : ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)

2.2.1 Penggolongan Aluminium Paduan

menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) Penetapan standarisasi logam aluminium mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Dibawah ini adalah cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya:

Tabel 2.3 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa

Unsur Paduan Utama	No. Seri
Aluminum murni, 99% dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur Lain	8xxx

Sumber: Avner, 1997 : 484

Pada angka pertama menunjukkan jenis unsur paduan pada logam aluminium, pada angka kedua menunjukkan sifat khusus pada logam jika angka kedua merupakan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka satu (1) sampai sembilan (9) memerlukan perhatian khusus, dan pada dua angka terakhir menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan

2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium

Pada pengelasan, paduan aluminium memiliki sifat yang kurang baik. Dibawah ini merupakan sifat – sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut :

1. Panas jenis dan daya hantar panas yang tinggi mengakibatkan sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium Al_2O_3 yang mempunyai titik cair yang tinggi. Dikarenakan sifat tersebut maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Paduan aluminium memiliki berat jenis rendah, hal ini mengakibatkan banyaknya zat – zat lain yang terbentuk pada saat pengelasan akan tenggelam. Hal ini memudahkan tergantungnya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
4. Akibat titik cair dan viskositasnya rendah menyebabkan daerah yang terkena pemanasan akan mudah mencair.

2.3 Pengelasan

2.3.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan menggunakan energi panas antara logam induk dan logam pengisi dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut bisa disimpulkan pada saat pengelasan dibutuhkan energi panas untuk mencairkan logam yang akan dilas.

2.3.2 Klasifikasi Pengelasan

Berikut cara kerja pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

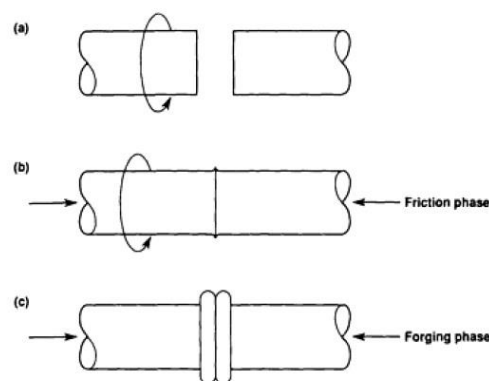
1. Pengelasan cair adalah pengelasan yang dilakukan dimana sambungan yang akan dilas akan mencair dan dapat menyatu, seperti pada las gas, las listrik, dan las busur plasma.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan yang dimana sambungan dipanaskan kemudian ditekan tanpa harus mencair hingga kedua sambungan dapat menyatu, seperti pada las gesek, las titik, las tempa, las ultrasonic.
3. Pematrian adalah pengelasan yang dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang dengan mempunyai titik cair rendah. Pada proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

2.4 Las Gesek (*Friction Welding*)

2.4.1 Definisi Las Gesek (*Friction Welding*)

pengelasan gesek (*friction welding*) adalah proses pengelasan yang memanfaatkan panas dari dua logam yang bergesekan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan tanpa ada sumber panas dari luar. Pada kondisi normal tidak terjadi *melting* di permukaan material hingga terjadi gesekan pada permukaan kedua material tersebut. Mula-mula material dikondisikan berotasi pada kecepatan tertentu sedangkan material lainnya dalam kondisi statis namun diberikan gaya aksial menuju material yang berputar sehingga terjadi *melting* akibat panas yang timbul dari gesekan pada kedua permukaan material tersebut sehingga terjadi proses penyambungan. Berdasarkan cara penggesekannya *friction welding* dibagi menjadi dua yaitu :

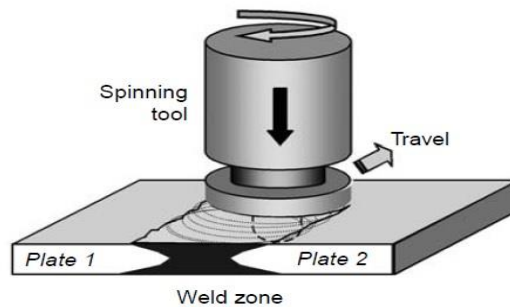
- a. Las gesek dengan sumber panas yang didapat dari gesekan kedua permukaan benda itu sendiri, contohnya *continous drive friction welding*.



Gambar 2.1 Mekanisme Las Gesek

Sumber : Elmer, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

- b. *friction stir welding*. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja atau spesimen yang kemudian akan dilas dengan pahat, pengelasan ini dapat dilakukan pada penyambungan dua logam yang jenisnya berbeda. Hal ini adalah kelebihan dari pengelasan ini.



Gambar 2.2 *Friction stir welding*
 Sumber : Blau (2008:385)

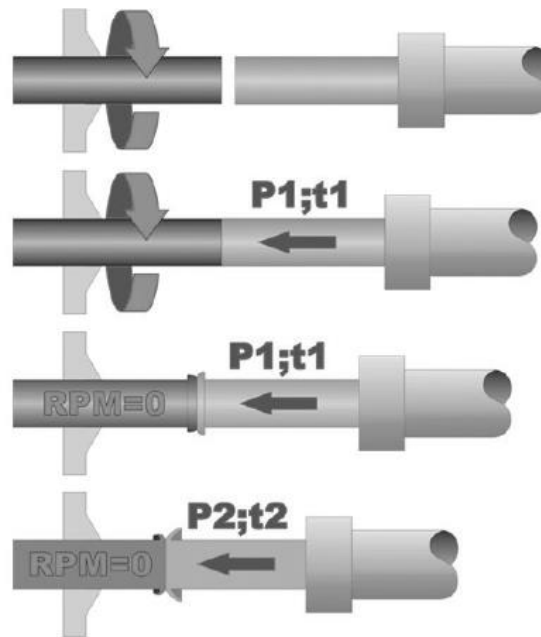
2.4.2 Kelebihan Friction Welding

Ada beberapa kelebihan dari pengelasan ini yakni :

1. Biaya murah dalam melaksanakan *friction welding*.
2. Daerah HAZ yang dihasilkan sangat sempit pada pengelasan ini.
3. Kekuatan pada sambungan *friction welding* hampir sama dengan kekuatan logam induk.
4. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda.
5. Terhindar dari asap beracun dan masalah lain yang terdapat pada metode welding yang lain.
6. Pengelasan pada temperatur rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material

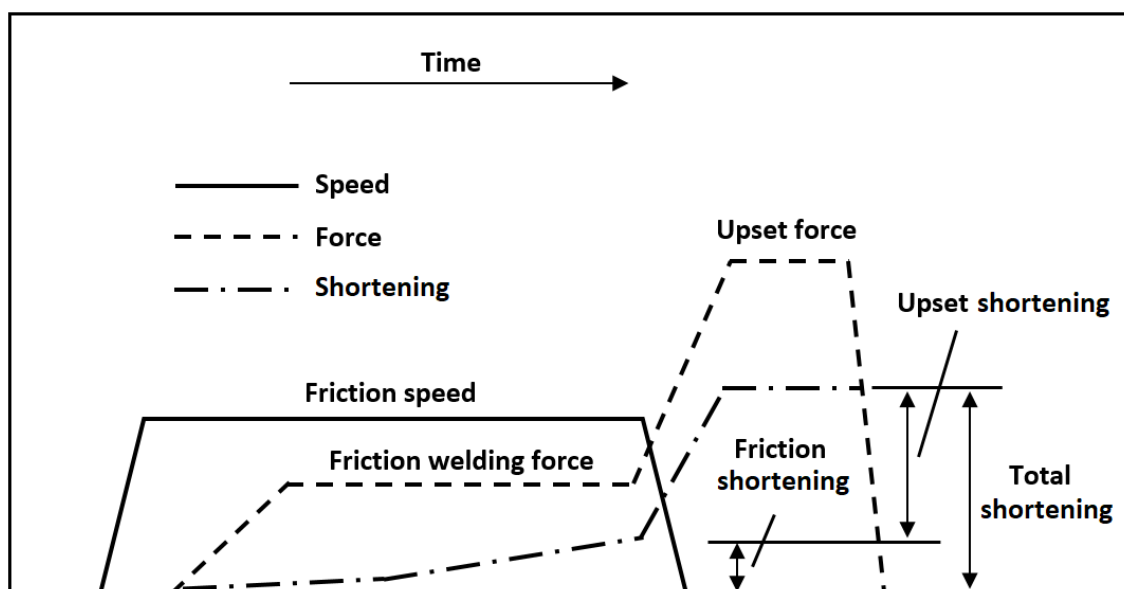
2.5 Continuous Drive Friction Welding

Continuous Drive Friction Welding merupakan proses pengelasan gesek yang mendapatkan energi panas untuk penyambungan dengan memberi putaran pada salah satu benda kerja dan pada benda lainnya diberikan tekanan kearah benda yang berputar. Akibat dari penekan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut teraduk. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara. Dari proses ini menghasilkan proses penyambungan logam tanpa pencairan atau yang dinamakan *solid state process*.



Gambar 2.3 *Continuous Drive Friction Welding*
 Sumber : Alves dkk (2012)

Pada pegelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, Terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan.



Gambar 2.4 Parameter *friction welding*
 Sumber: Elmer, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Parameter yang terdapat pada *friction welding* diantaranya adalah *friction speed*, *friction speed* yang stabil selama *friction welding* berlangsung, selama *friction time* akan menimbulkan panas yang di akibatkan oleh gesekan dari *friction welding*. *Friction welding*

force adalah tekanan yang diberikan pada saat proses *friction welding*, pada awalnya tekanan yang diberikan hanya akan mencapai titik tertentu kemudian kestabilan tekanan dijaga hingga waktu gesekan selesai dan tekanan akan dinaikkan pada waktu tertentu pada saat diberikan tekanan akhir atau disebut *upset force*, besar gaya penekanan akhir tersebut dinaikkan dari besar gaya penekanan awal dan ditahan selama waktu tertentu, *upset force* inilah yang memiliki peran penting untuk menyambung dan memperkuat ikatan metalurgi pada sambungan las gesek (Mesler, *Principles of Welding*, 2007). Dari pemberian tekanan inilah yang akan mengakibatkan *shortening* pada specimen yang disambungkan dan perpendekan tersebut dapat dilihat dari hasil *flash* pada saat proses pengelasan berakhir.

2.6 Pengujian Puntir

Uji Puntir merupakan pengujian material dengan sifat merusak (*destructive test*) hingga material mengalami patahan. Pengujian puntir bertujuan untuk mengetahui sifat pada material yang berupa kekuatan puntir setelah menerima tegangan puntir hingga mengalami patah.

Pada pengujian ini spesimen diletakkan pada pencekam pada kedua sisinya. Kemudian sudut geser pada alat diposisikan pada titik nol dan kemudian chuck dirapatkan dengan kunci chuck. Setelah semuanya diatur maka timbangan di posisikan pada posisi nol. Setelah itu setiap pergeseran sepuluh derajat dicatat beban yang diterima oleh benda tersebut dengan melihat timbangan. Dan itu dilakukan sampai benda mengalami beban maksimal dan putus. Setelah kita menemukan beban maksimal yang dapat diterima oleh spesimen tersebut maka akan dimasukkan kedalam rumus perhitungan dengan cara mencari momen benda terlebih dahulu dengan lengan panjang yang sudah diketahui sebesar 0,2 m. (Amirullah, 2014)

Rumus momen torsi (T) yang digunakan untuk batang melingkar :

$$T = F.L \quad (2-1)$$

Untuk momen inersia polar (J) adalah :

$$J = \frac{\pi d^4}{32} (\text{mm}^4) \quad (2-2)$$

Setelah menemukan momen maka kita dapat menghitung tegangan geser maksimum (τ_{max}) yang terjadi pada benda tersebut dengan rumus dibawah ini.

$$\frac{\tau_{max}}{r} = \frac{T}{J} \quad (2-3)$$

Keterangan :

τ_{max} = tegangan geser maksimum (Mpa)

T = Momen torsi

F = gaya yang diberikan (N)

J = momen inersia polar (mm⁴)

r = radius benda uji(mm)

L = panjang lengan (mm)



Gambar 2.5 Panjang Lengan Alat Uji Puntir

L pada rumus momen torsi (2-1) merupakan Panjang lengan pada alat yang menuju neraca pegas timbangan beban yang telah diketahui Panjangnya yaitu 145 mm.

2.7 Anisotropy

Pada pengujian puntir ini akan dicari pula nilai *anisotropy* kekuatan puntir pada spesimen. *Anisotropy* sendiri adalah kondisi saat material tidak sama di salah satu arahnya, *anisotropy* digunakan untuk menyatakan sifat suatu material yang berbeda secara sistematis tergantung pada arahnya, pada saat pengujian kekuatan puntir akan dicari dengan 2 cara yaitu dengan arah puntiran searah putaran pengelasan dan puntiran berlawanan arah putaran

pengelasan, hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan kekuatan puntir pada arah puntiran yang berbeda.

2.8 Energi Input

Energi panas yang didapatkan dari pergesekan dua benda untuk mencairkan logam ketika pada saat pengelasan las gesek adalah fungsi dari putaran yang digunakan, tekanan dan koefisien gesek. Nilai dari energi yang masuk ($d\dot{Q}$) didekati dengan persamaan akibat gaya gesek yang ditimbulkan adalah sebagai berikut :

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (W) \quad (2-3)$$

ω merupakan kecepatan sudut dan dM_t merupakan perbedaan momen torsi pada radius. dM_t dapat diperoleh dengan :

$$dM_t = r \cdot dF_{friction} \quad (Nm) \quad (2-4)$$

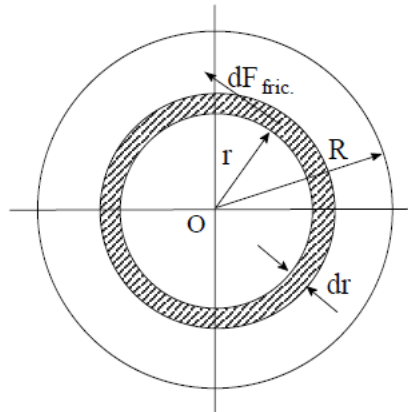
$dF_{friction}$ adalah gaya gesek antara spesimen pada permukaan dr dan r adalah radius spesimen. Kemudian diteruskan gaya gesekan $dF_{friction}$ sama dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial dari tekanan P dari permukaan spesimen dengan radius dr dan dapat dirumuskan :

$$dF_{friction} = \mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr \quad (2-5)$$

Dari persamaan 2-4 dan 2-5 dapat kita substitusikan ke persamaan 2-3 menjadi :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (W) \quad (2-6)$$

Lalu dapat diperoleh total energi dari permukaan yang bergesekan, panas yang timbul dikarenakan permukaan spesimen r dan dr dari sumbu putar yang dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 Skema Permukaan Spesimen yang Bergesekan
Sumber : Can dkk, 2010

$$d\dot{Q} = \int_0^R 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-7)$$

$$\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R \quad (2-8)$$

Pada spesimen silinder pejal akan diperoleh persamaan :

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot r^3 \quad (W) \quad (2-9)$$

dengan :

\dot{Q} = energi pengelasan (W)

ω = kecepatan sudut (rad/sec)

μ = koefisien gesek aluminium

P = tekanan (N/mm²)

R = radius spesimen (mm)

M_t = Momen Torsi (kg.m)

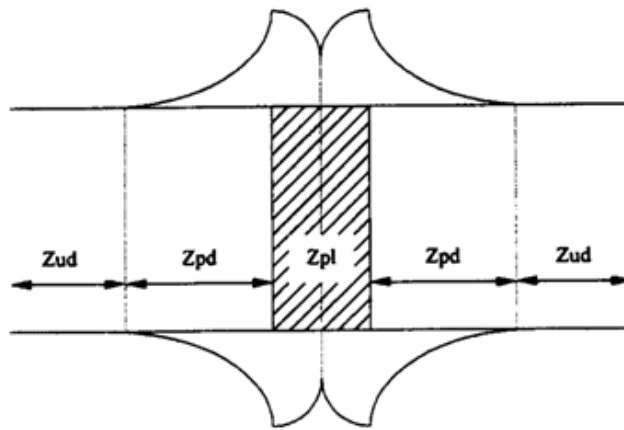
2.9 Heat Affected Zone (HAZ)

Heat Affected Zone (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las dan dipengaruhi panas yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat yang mengakibatkan perubahan struktur pada daerah tersebut sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. *HAZ* merupakan daerah yang terpengaruh panas saat proses pengelasan. Akibatnya, struktur mikro dan sifat-sifat mekanis dari spesimen yang dilas berubah dari keadaan semula. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah *HAZ* yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

Dalam pengelasan gesek beberapa bagian penting dibagi menjadi 4 yaitu :

1. *Contact region* (Z_c) merupakan bagian dari hasil pengelasan gesek yang menyatu dan mengalami deformasi plastis.
2. *Fully plasticized region* (Z_{pl}) adalah daerah sambungan yang mengalami deformasi plastis secara keseluruhan namun tidak ikut menyatu saat pengelasan.
3. *Partly deformed region* (Z_{pd}) merupakan daerah yang mengalami panas serta deformasi sebagian yang diakibatkan proses pengelasan.
4. *Undeformed region* (Z_{ud}) atau daerah yang kurang terpengaruh panas ketika proses pengelasan.

Untuk mengetahui daerah Z_c , Z_{pl} , Z_{pd} , dan Z_{ud} maka dapat dilihat melalui foto makrostruktur.



Gambar 2.7 Z_c (i), Z_{pl} (ii), Z_{pd} (iii), dan Z_{ud} (iv)

Sumber : Maalekian (2007)

2.10 Hipotesa

Berdasarkan teori dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, bisa diperoleh hipotesa bahwa Semakin menurunnya sudut chamfer dan semakin besarnya *upset force* akan meningkatkan kekuatan puntir pada pengelasan gesek aluminium A6061. Spesimen yang menggunakan sudut chamfer akan memiliki durasi difusi yang lebih lama dibanding dengan spesimen tanpa sudut chamfer dikarenakan permukaan bidang kontak yang lebih kecil. Durasi difusi yang berlangsung lebih lama inilah yang akan menurunkan kekuatan puntir dari sambungan las gesek.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode penelitian yang digunakan yaitu metode *true experimental*. Metode ini digunakan untuk mengetahui secara langsung Efek *upset force* terhadap *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Oktober – Desember 2016 Tempat yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

- Laboratorium Proses Produksi I, Universitas Brawijaya, fakultas Teknik, jurusan mesin untuk melakukan pengelasan Gesek.
- Laboratorium Pengujian Bahan, Politeknik Negeri Malang untuk melakukan pengujian kekuatan puntir.

3.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat diubah sehingga variabel ini mempengaruhi hasil penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

- Sudut chamfer : Tanpa *Chamfer*, 15°
- *upset force* : 7 kN, 14 kN, 21 kN

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Adapun variabel terikat dari penelitian ini adalah nilai kekuatan puntir.

3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang besarnya harus dijaga supaya tidak mempengaruhi hasil dari variabel terikat. Variabel konstan pada penelitian ini yakni :

1. Specimen yang digunakan aluminium A6061
2. Kecepatan Putaran Spindle 1600 rpm
3. Gaya penekanan pengelasan 7 kN

3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan

3.3.1 Spesifikasi Alat

a. Mesin Bubut

Mesin bubut yang telah dimodifikasi dengan pompa hidrolik akan digunakan sebagai alat pengelasan gesek.



Gambar 3.1 Mesin Bubut

b. Jangka sorong

Jangka sorong atau *Vernier Caliper* digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.



Gambar 3.2 *Vernier Caliper*

c. Pompa Hidrolik

Pompa Hidrolik digunakan untuk memberikan gaya penekanan saat proses pengelasan.



Gambar 3.3 Pompa Hidrolik

d. *Thermogun*

Thermogun digunakan untuk mengukur temperatur di daerah permukaan las.



Gambar 3.4 *Thermogun*

e. Mesin Uji Puntir



Gambar 3.5 Mesin Uji Puntir

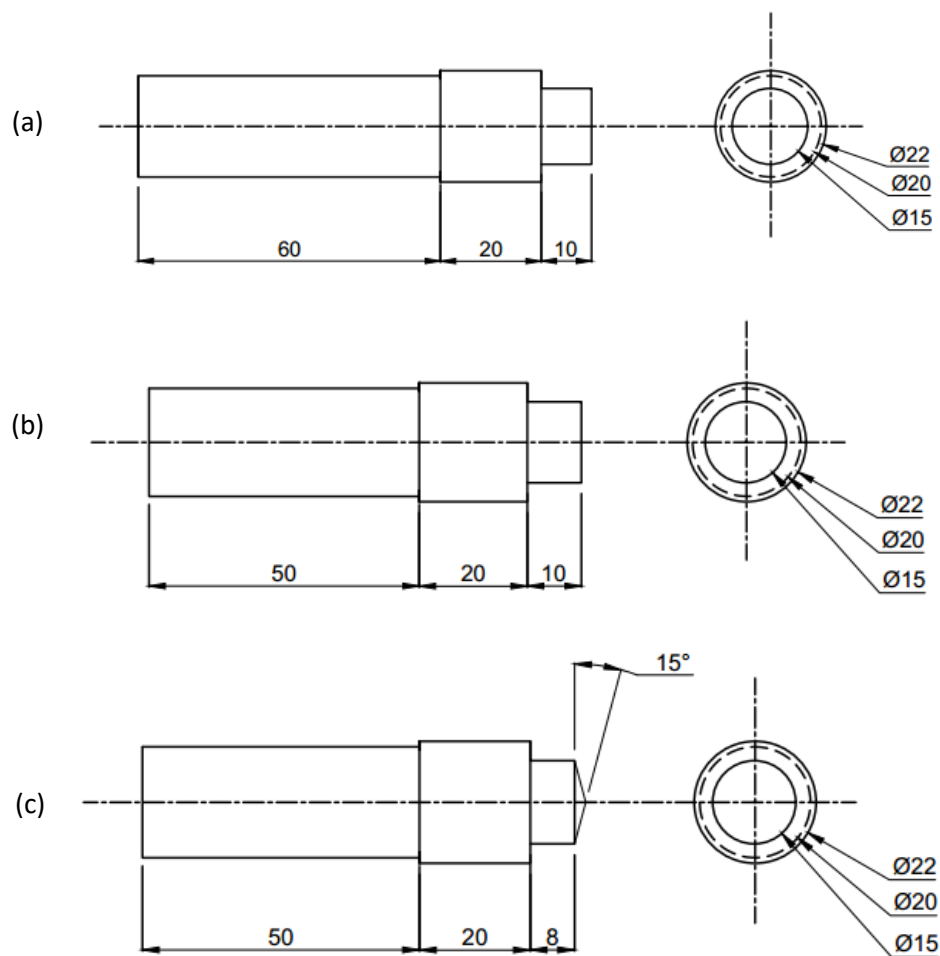
3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk pengelasan pada penelitian ini merupakan Aluminium A6061 berbentuk silinder pejal dengan komposisi :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia A6061

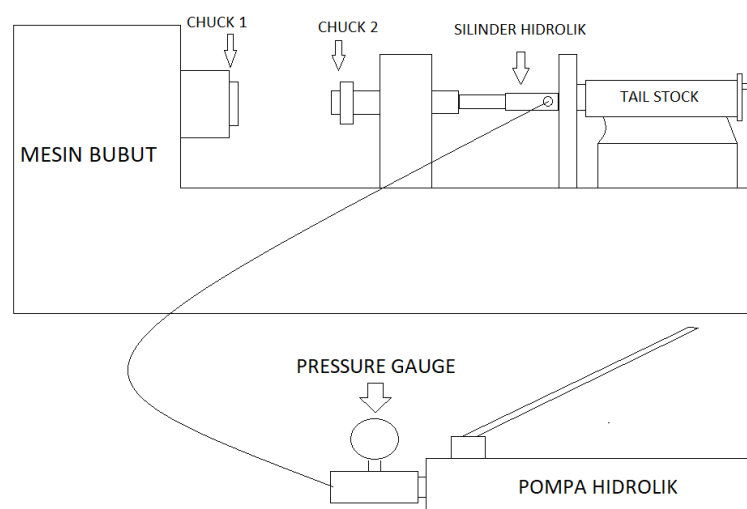
Paduan	Kandungan (%)
Alumunium (Al)	96,9
Silikon (Si)	0,369
Besi (Fe)	0,160
Tembaga (Cu)	0,167
Mangan (Mn)	0,020
Magnesium (Mg)	0,0906
Krom (Cr)	1,83
Nikel (Ni)	0,0214
Seng (Zn)	0,342
Timah (Sn)	0,050
Titanium (Ti)	0,0138
Timbal (Pb)	0,030
Berilium (Be)	0,0002
Kalsium (Ca)	0,0033
Stronsium (Sr)	0,0005
Vanadium (V)	0,010
Zirkonium (Zr)	0,003

Sumber : ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)



Gambar 3.6 Dimensi Benda Kerja (a) Spesimen yang berputar (b) spesimen yang diam (c) spesimen dengan *chamfer*

3.4 Instalasi Penelitian



Gambar 3.7 Skema Alat Pengelasan Gesek

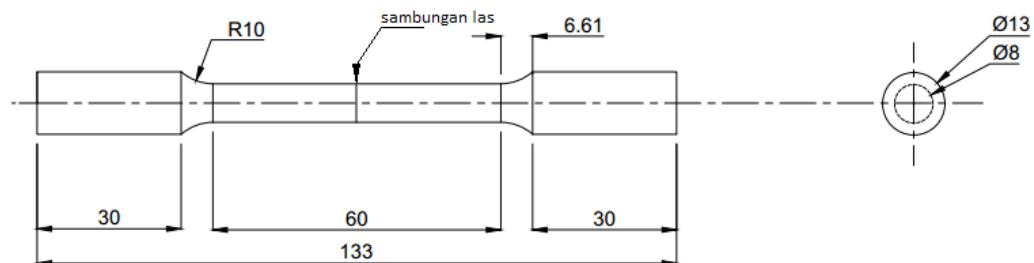
3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pengelasan Gesek

1. Pembuatan sudut *chamfer* pada spesimen
2. Persiapan mesin bubut dan sesimen yang akan digunakan seperti pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.
3. Pemasangan spesimen (a) pada *chuck* yang berputar dan spesimen (b) *chuck* yang diam
4. Pengaturan kecepatan putaran spindle dari motor.
5. Motor dihidupkan serta mengatur tekanan pada hidrolik kemudian pengelasan dilakukan dengan variasi waktu.
6. Motor dimatikan lalu diberi tekanan akhir sebesar 21 kN selama 10 detik
7. Spesimen dilepas dari cekam
8. Pada variasi sudut *chamfer* selanjutnya diulangi mulai langkah nomor 2.

3.5.2 Pengujian Kekuatan Puntir

Untuk spesimen pengujian puntir digunakan standar ASTM E-143 dengan dimensi sebagai berikut.

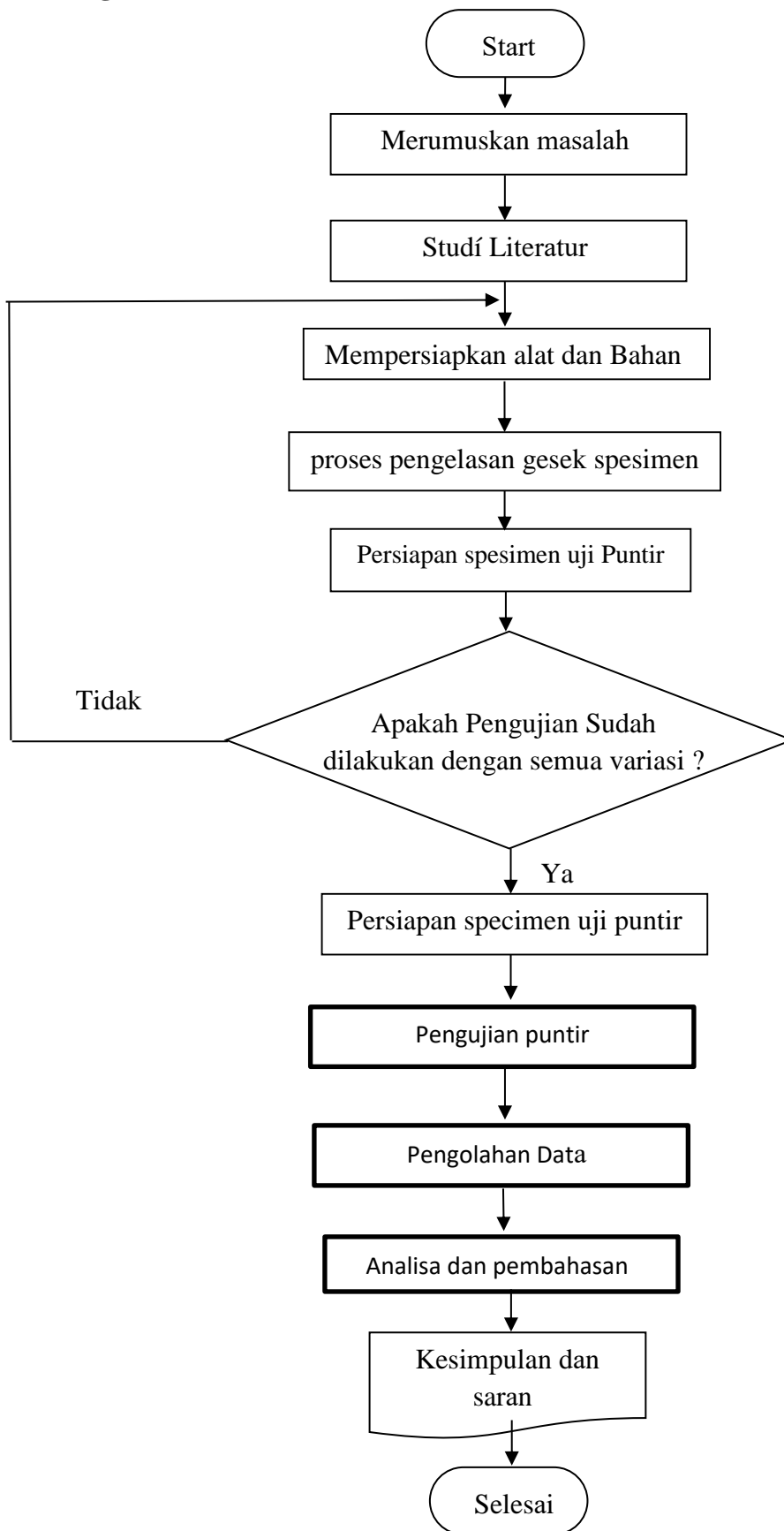


Gambar 3.8 Dimensi Benda Kerja Uji Puntir

Sumber : ASTM E-143 (2004)

Pengujian dilakukan dengan mempersiapkan spesimen seperti pada gambar 3.8 kemudian menaruh salah satu ujung benda uji silinder pada chuck, sementara diberikan pembebanan pada melalui kepala beban pada ujung lainnya. Panah penunjuk pada alat pengukur sudut geser diposisikan pada sudut titik nol lalu merapatkan kedua chuck. Deformasi yang terjadi diukur menggunakan alat pengukur sudut puntir yaitu troptometer. Untuk pengujian puntir pada spesimen *anisotropy* dilakukan dengan memutar arah puntiran secara berlawanan dengan arah sebelumnya.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.9 Alur penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir

Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah sudut 15° dan tanpa *chamfer*, *upset force* 7 kN, 14 kN dan 21 kN, lalu arah putaran puntir searah dan berlawanan arah (*anisotropy*) dan dilakukan tiga kali pengulangan lalu didapatkan nilai kekuatan puntir rata – rata dari ketiga pengulangan pada setiap variasi. Tabel 4.1 berikut menunjukkan hasil pengujian *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi.

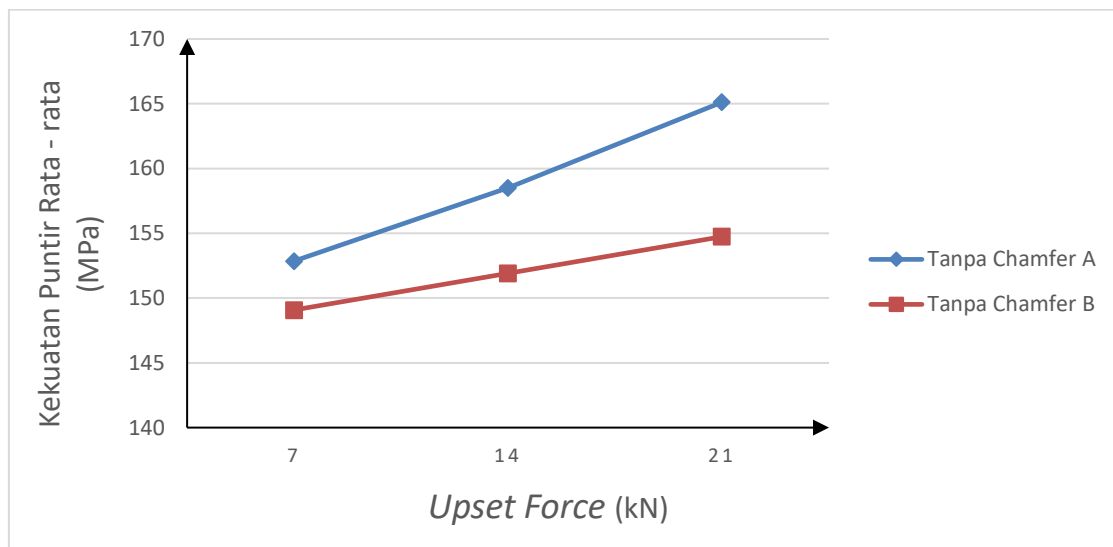
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut *Chamfer* dan Variasi *Upset Force* dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah Putaran Las (A)

Sudut Chamfer	Tekanan (kN)	Kekuatan Puntir (MPa)	RATA – RATA (MPa)
Tanpa <i>Chamfer</i>	7	152,86	152,86
		141,53	
		164,18	
	14	158,52	158,52
		144,36	
		172,67	
	21	175,5	165,12
		147,19	
		172,67	
15°	7	144,36	132,1
		130,21	
		121,72	
	14	144,36	150,97
		131,53	
		167,01	
	21	141,53	153,8
		164,18	
		155,69	

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut *Chamfer* dan Variasi *Upset Force* dengan Arah Puntiran Searah Putaran Las (B)

Sudut Chamfer	Tekanan (kN)	Kekuatan Puntir (MPa)	RATA – RATA (MPa)
Tanpa <i>Chamfer</i>	7	161,35	149,08
		147,19	
		138,7	
	14	158,52	151,91
		155,69	
		141,53	
	21	150,02	154,74
		155,69	
		158,52	
15°	7	130,21	127,38
		127,38	
		124,55	
	14	155,69	144,36
		144,36	
		133,04	
	21	147,19	148,14
		138,7	
		158,52	

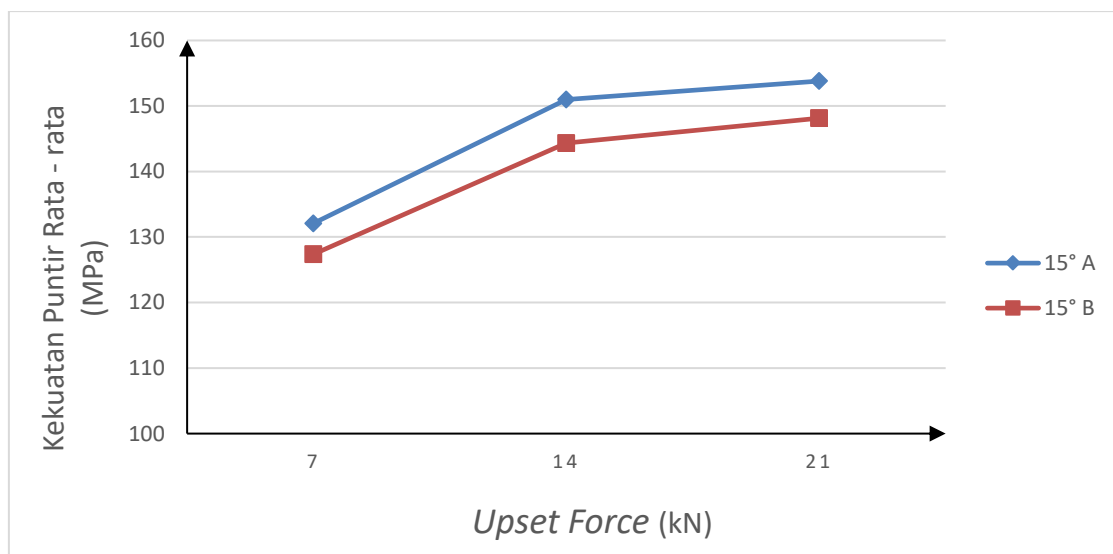
4.2 Pembahasan



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Variasi Sudut Tanpa *Chamfer* dan *Upset Force* terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah (A) dan Searah (B) Putaran Las

Dari gambar 4.1 didapatkan Kekuatan puntir tertinggi terdapat pada variasi sudut tanpa *chamfer* dengan arah puntiran berlawanan arah putaran Las (A) dan *upset force* 21 kN dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 165,12 MPa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada variasi tanpa *chamfer* dengan arah puntiran searah dengan putaran Las (B) dan *upset force* 7 kN dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 149,08 MPa.

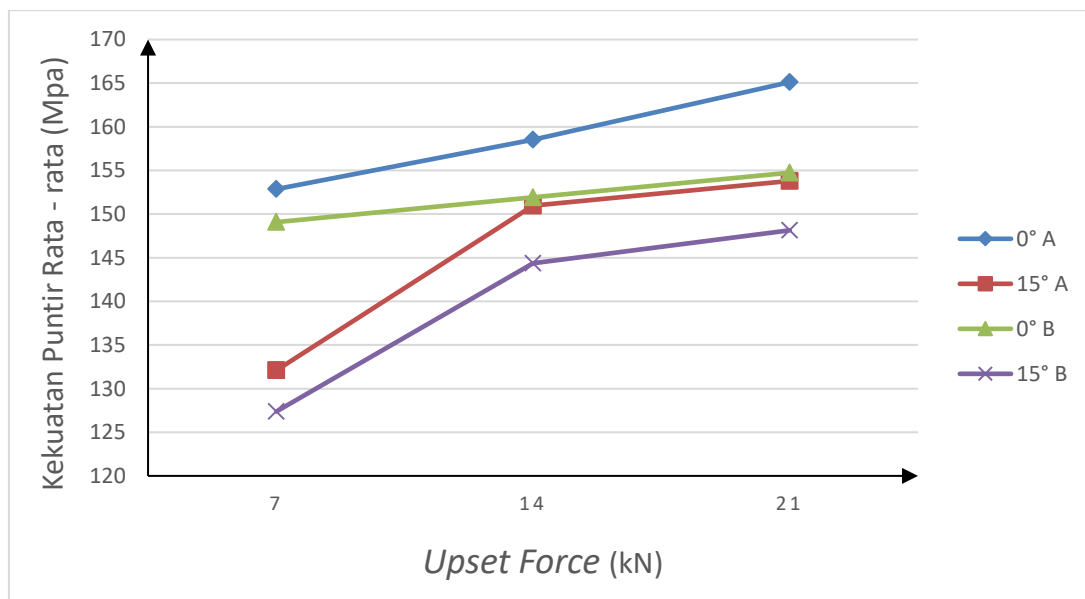
Pada gambar 4.1 Pada variasi sudut tanpa *chamfer* dengan arah puntiran berlawanan arah putaran las (A) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 152,86 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 158,52 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 165,12 MPa. Lalu pada variasi sudut tanpa *chamfer* dengan arah puntiran searah putaran las (B) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 149,08 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 151,91 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 154,74 MPa.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara variasi Sudut *Chamfer* 15° dan *Upset Force* terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek dengan Arah Puntiran Berlawanan arah (A) dan Searah (B) Putaran Las

Dari gambar 4.2 didapatkan Kekuatan puntir tertinggi terdapat pada variasi *chamfer* 15° dengan arah puntiran berlawanan arah putaran Las (A) dan *upset force* 21 kN dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 153,8 Mpa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada variasi *chamfer* 15° dengan arah puntiran searah dengan putaran Las (B) dan *upset force* 7 kN dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 127,38 Mpa.

Pada gambar 4.2 pada sudut chamfer 15° (A) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 132,1 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 150,97 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 153,8 MPa. Lalu pada sudut chamfer 15° (B) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 127,38 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 144,36 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 148,14 MPa.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Sudut *Chamfer* dan *Upset Force* terhadap Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek dengan Arah Puntiran Berlawanan Arah (A) dan Searah (B) Putaran Las

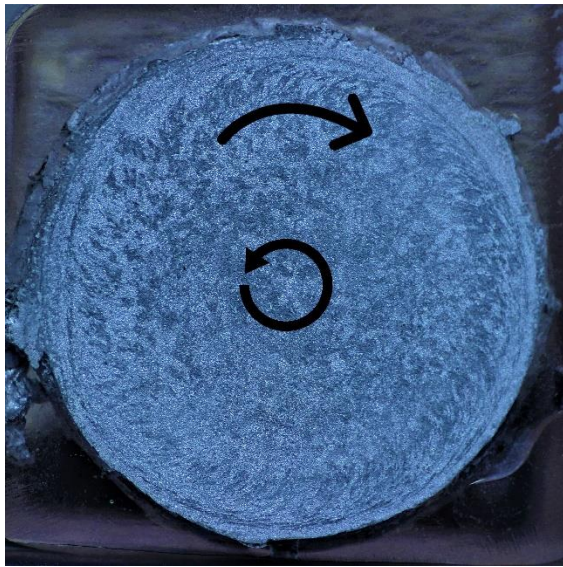
Dari gambar 4.3 didapatkan bahwa pengaruh gaya tempa akhir dan sudut chamfer dapat mempengaruhi nilai kekuatan puntir pada sambungan las gesek. Kekuatan puntir tertinggi terdapat pada variasi tanpa sudut *chamfer* dengan *upset force* 21 kN dan arah puntiran berlawanan arah dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 165,12 Mpa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada variasi *chamfer* 15° dengan *upset force* 7 kN dan arah puntiran searah dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 127,38 Mpa, pada spesimen dengan kekuatan puntir tertinggi dengan puntiran berlawanan arah (A) dan kekuatan puntir terendah dengan puntiran searah (B) memiliki *anisotropy* perbedaan kekuatan puntir sebesar 22,8 %. Didapatkan *anisotropy* kekuatan puntir antara spesimen dengan puntiran berlawanan arah (A) dan searah (B) dengan variasi sudut tanpa *chamfer* dengan perbedaan 4,3 %, dan pada

anisotropy kekuatan puntir antara spesimen dengan puntiran berlawanan arah (A) dan searah (B) dengan sudut *chamfer* 15° dengan perbedaan 3,6 %.

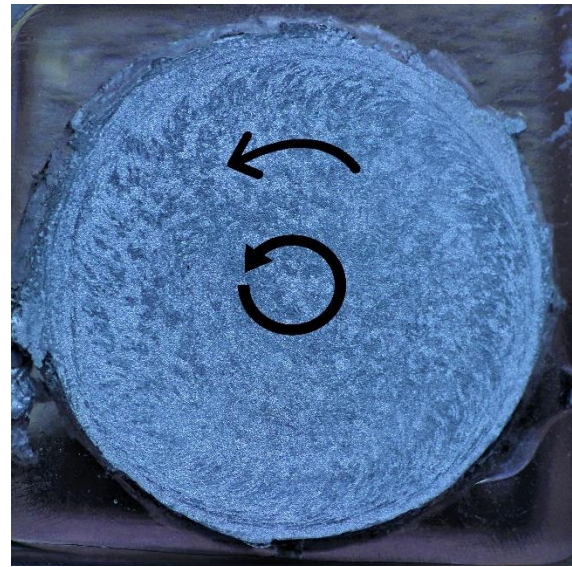
Pada gambar 4.3 Pada variasi sudut tanpa *chamfer* dan sudut 15° dengan arah puntiran berlawanan arah putaran las (A) memiliki tiga variasi *upset force* yaitu 7 kN, 14 kN dan 21 kN. Pada variasi sudut tanpa *chamfer* (A) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 152,86 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 158,52 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 165,12 MPa. Lalu pada sudut *chamfer* 15° (A) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 132,1 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 150,97 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 153,8 MPa.

Sedangkan pada variasi sudut tanpa *chamfer* dan sudut 15° dengan arah puntiran searah putaran las (B) memiliki tiga variasi *upset force* yaitu 7 kN, 14 kN dan 21 kN. Pada variasi sudut tanpa *chamfer* (B) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 149,08 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 151,91 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 154,74 MPa. Lalu pada sudut *chamfer* 15° (B) dengan *upset force* 7 kN memiliki kekuatan puntir rata – rata sebesar 127,38 MPa, pada *upset force* 14 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 144,36 MPa, dan pada *upset force* 21 kN dengan kekuatan puntir rata – rata sebesar 148,14 MPa.

Semakin besar *upset force* maka kekuatan puntir akan semakin meningkat, hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya *upset force* maka ukuran butiran pada sambungan las akan semakin mengecil, maka kekuatan puntir yang didapatkan akan meningkat. Pada gambar 4.3 terlihat kecenderungan kekuatan puntir pada variasi sudut tanpa *chamfer* lebih tinggi dari pada sudut *chamfer* 15°, hal ini dikarenakan pada saat pengelasan pada specimen dengan sudut *chamfer* 15° membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan variasi sudut tanpa *chamfer* untuk mencapai *burn-off length* sebesar 3 mm, hal ini mengakibatkan suhu meningkat dan deformasi plastis menurun pada sambungan las, yang mengakibatkan kekuatan puntir semakin menurun.



(A) Berlawanan Arah

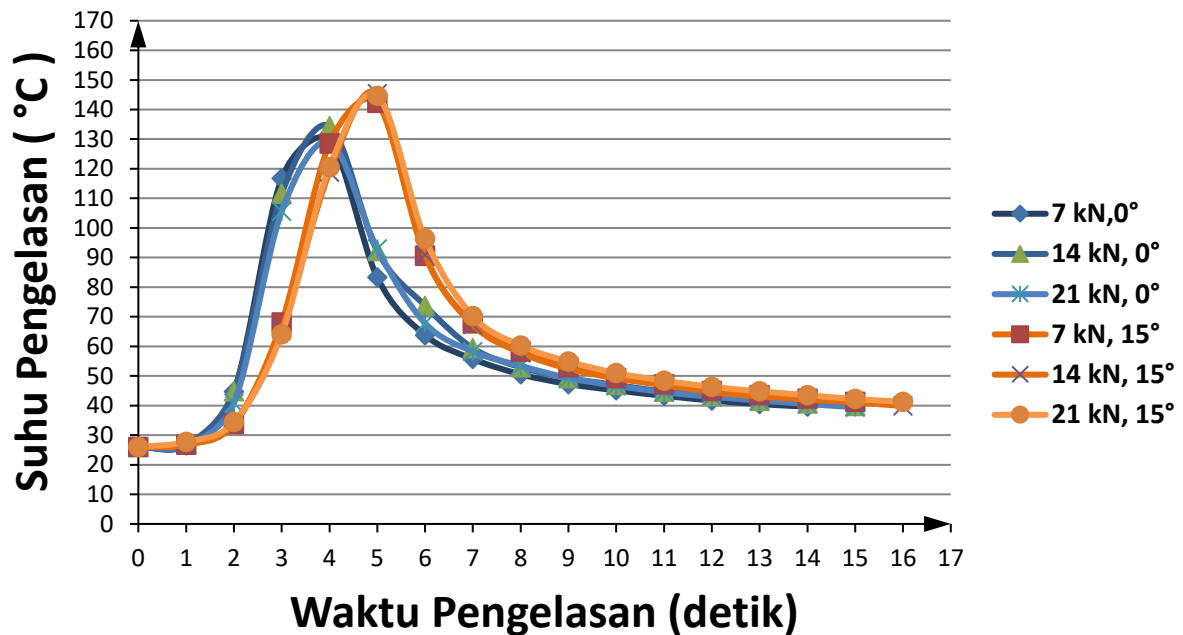


(B) Searah

Gambar 4.4 Foto Makro Sambungan Las Gesek A6061

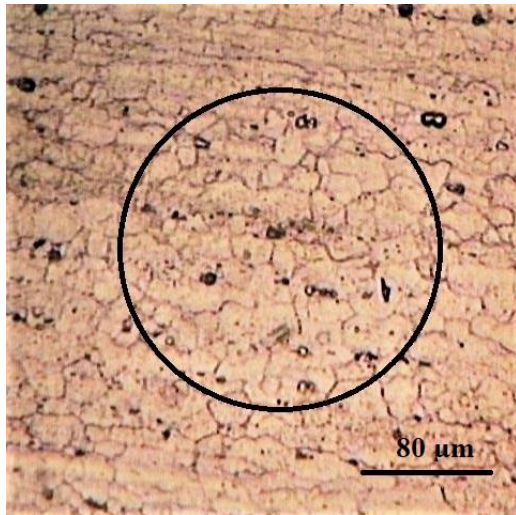
Dari gambar 4.4 dapat diketahui arah struktur pada *interface* spesimen sambungan las gesek cenderung mengarah kekiri, hal ini dikarenakan pada saat dilakukan pengelasan gesek arah putaran *chuck* pada mesin las gesek pada saat dilakukan pengelasan berputar ke arah kiri. Pada panah yang terletak pada bagian tengah spesimen menunjukkan arah putaran las gesek dan panah pada bagian atas spesimen menunjukkan arah puntiran pada saat dilakukan pengujian puntir. Pada gambar (A) menunjukkan arah puntiran yang berlawanan arah dengan putaran las gesek pada saat dilakukan pengujian puntir, sedangkan pada gambar (B) menunjukkan arah puntiran yang searah dengan putaran las gesek pada saat dilakukan pengujian puntir.

4.3 Hubungan Waktu Pengelasan terhadap Suhu Pengelasan dan Mikrostruktur Spesimen

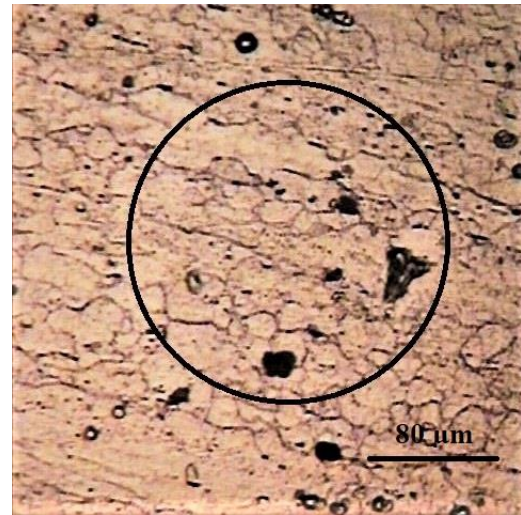


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Waktu Pengelasan terhadap Suhu Pengelasan

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa sudut *chamfer* akan mempengaruhi suhu pengelasan, specimen dengan variasi sudut *chamfer* 15° memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi sudut tanpa *chamfer*. Hal ini dikarenakan waktu pengelasan pada specimen dengan sudut *chamfer* 15° membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan specimen dengan variasi sudut tanpa *chamfer*. Dari gambar 4.4 terlihat pada variasi sudut tanpa *chamfer* memerlukan waktu 4 detik untuk mencapai suhu maksimal, sedangkan pada sudut *chamfer* 15° memerlukan waktu 5 detik untuk mencapai suhu maksimal, hal ini dikarenakan pada variasi sudut tanpa *chamfer* memiliki luas permukaan bidang kontak yang lebih besar, sedangkan pada sudut *chamfer* 15° memiliki permukaan bidang kontak yang lebih kecil dikarenakan memiliki kerucut pada permukaannya.



(a) Tertinggi



(b) Terendah

Gambar 4.6 foto mikrostruktur dengan kekerasan tertinggi dan terendah pada sambungan las A6061

Dari gambar 4.5 didapatkan spesimen dengan kekerasan tertinggi dan terendah, Pada spesimen dengan kekerasan tertinggi dengan *upset force* 21 kN dengan ukuran butir 17,68 μm , sedangkan pada spesimen dengan kekerasan terendah dengan *upset force* 7 Kn memiliki ukuran butir 20,69 μm . pada spesimen dengan kekerasan tertinggi memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan kekerasan terendah. Hal ini dikarenakan pada saat pengelasan spesimen pada kekerasan tertinggi diberikan *upset force* yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen dengan kekerasan terendah, sehingga mengakibatkan ukuran butir pada spesimen pada kekerasan tertinggi lebih kecil dibanding spesimen dengan kekerasan terendah.

BAB V

PENUTUP

5.3 Kesimpulan

Pada penelitian ini kesimpulan yang didapatkan yaitu efek *upset force* terhadap *anisotropy* kekuatan puntir sambungan las gesek A6061 dengan *chamfer* satu sisi, *upset force* dan *chamfer* sangat berpengaruh terhadap kekuatan puntir, Semakin besar *upset force* maka kekuatan puntir akan semakin meningkat, hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya *upset force* maka ukuran butiran pada sambungan las akan semakin mengecil, maka kekuatan puntir yang didapatkan akan meningkat. sudut *chamfer* akan mempengaruhi suhu pengelasan, specimen dengan variasi sudut *chamfer* 15° memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi sudut tanpa *chamfer*, Hal ini dikarenakan waktu pengelasan yang lebih lama yang disebabkan pada variasi sudut tanpa *chamfer* memiliki luas permukaan bidang kontak yang lebih besar, sedangkan pada sudut *chamfer* 15° memiliki luas permukaan bidang kontak yang lebih kecil dikarenakan memiliki kerucut pada permukaannya. Kekuatan puntir tertinggi terdapat pada variasi sudut tanpa *chamfer* dengan *upset force* 21 kN dan arah puntiran berlawanan arah dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 165,12 Mpa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada variasi *chamfer* 15° dengan *upset force* 7 kN dan arah puntiran searah dengan nilai kekuatan puntir rata – rata sebesar 127,38 Mpa. pada spesimen dengan kekuatan puntir tertinggi dengan puntiran berlawanan arah (A) dan kekuatan puntir terendah dengan puntiran searah (B) memiliki *anisotropy* perbedaan kekuatan puntir sebesar 22,8 %. *anisotropy* kekuatan puntir antara spesimen dengan puntiran berlawanan arah (A) dan searah (B) dengan sudut *chamfer* 0° dengan perbedaan 4,3 %, dan pada *anisotropy* kekuatan puntir antara spesimen dengan puntiran berlawanan arah (A) dan searah (B) dengan sudut *chamfer* 15° dengan perbedaan 3,6 %.

5.2 Saran

1. Diperlukan mesin *friction welding* yang lebih modern untuk memudahkan penelitian
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang *anisotropy* kekuatan puntir dan berbagai variasi lainnya
3. Diperlukan alat uji puntir yang lebih presisi dan modern

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. (2004). *Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium-Alloy Products*. ASTM Designation B557M., Manual Book of ASTM Standards, Vol.3, No.1, pp. 338-342.
- Amirullah, M., Irawan Y.S, Oerbandono, T. (2014). Pengaruh Sudut Chamfer Satu Sisi dan Friction Time Terhadap Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si. Malang : Jurnal Rekayasa Mesin
- ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015).
- Blau, P. J. (2008). *Friction Science and Technology: From Concepts to Applications, Second Edition*. Taylor & Francis.
- Can, A., Sahin, M. dan Kucuk, M. (2010). *Modelling of Friction Welding*. International Scientific Conference, 2010, pp. 135–142.
- Irawan, Y.S, Amirullah, M., Gumilang, G. B. D, Oerbandono, T., Suprpto, W. (2016). *Torsion Strength of Continuous Drive Friction Weld Joint of Round Bar Aluminum A6061 Affected by Single Cone Geometry of Friction Area*
- Irawan, Y.S, Hidayat, N. dan Gumilang, GBD. (2014). Pengaruh Sudut *Chamfer* Satu Sisi Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Al–Mg–Si. Malang : Laporan Penelitian Kategori A. No. 20/UN10.6/PG/2014.
- Irawan, Y. S, Wirohardjo, M, dan Ma'arif, M. S (2012). *Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles*. *Advance Material Research Vol. 576*, pp. 761-765.
- Lin, C. B. Lin, C. K. Mu, W. W. Wu and C. H. Hung. (1999). *The Effect Of Joint Design and Volume Fraction On Friction Welding Properties Of A360/Sic (P) Composites*. *Welding Research Supplement*. Department Of Mechanical Engineering. Tamkang University. Taiwan.
- Sahin, M. & Misirli, C. (2007). *Mechanical and Metalurgical Properties of Friction Welded Aluminium Joints*. *Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications*. Department of Mechanical Engineering., Trakya University, Turkey, pp. 277-300.
- Santoso, E. B, Irawan, Y. S dan Sutikno, E. (2012). Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al – Mg – Si. Malang : Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.03.01, pp 293-298.

- Sathiya, P., Aravindan, S. dan Haq, A.N. (2007). Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Ferritic Stainless Steel. London : Springer-Verlag London Limited
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. (1994). *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Robert W. Messler, Jr. (1999). *Principles of Welding : Processes, Physics, Chemistry, and Metalurgy*, John Wiley and Sons, New York

LAMPIRAN

Lampiran 1 Spesimen Hasil Pengelasan Gesek



Sudut 0°



Sudut 15°

Lampiran 2 Spesimen Pengujian Puntir



Sudut 0°



Sudut 15°

Lampiran 3 Patahan Spesimen Puntir

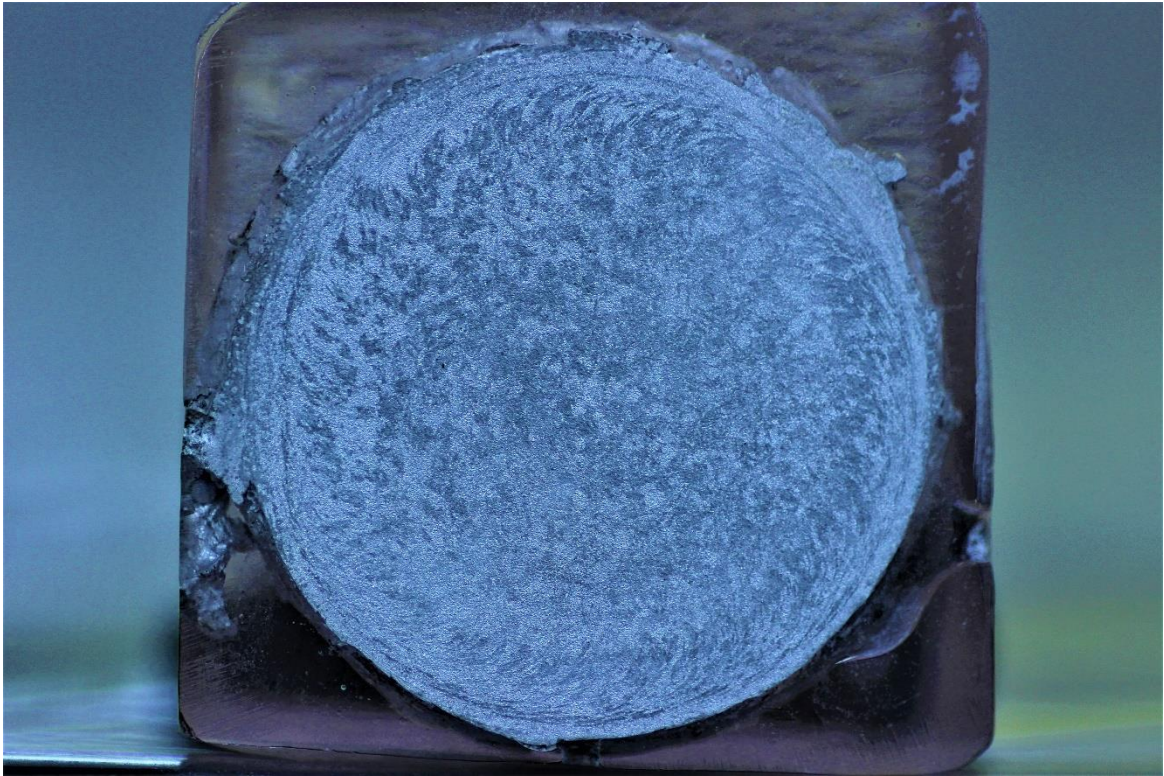


Sudut 0°

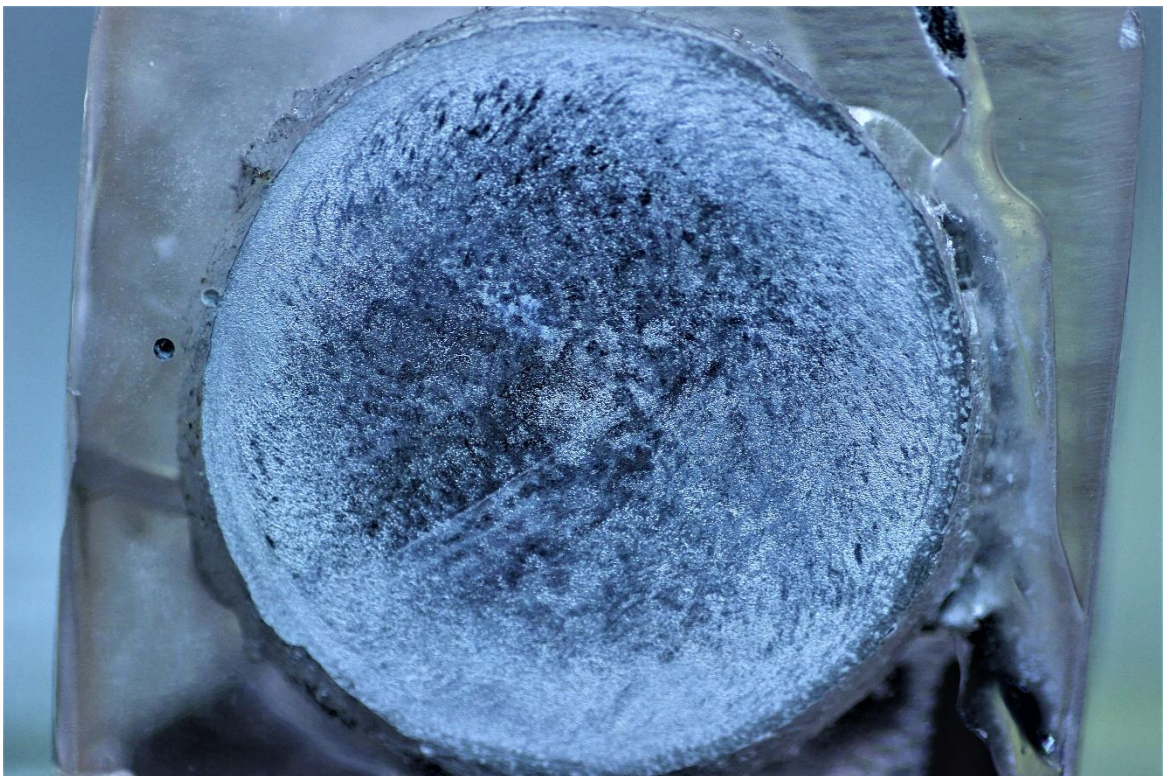


Sudut 15°

Lampiran 4 Foto Makro pada Sambungan Las Gesek



Sudut 0°



Sudut 15

Lampiran 5.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Tabel Suhu Pengelasan Setiap Detik Variasi Upset Force 14 kN Dan Sudut Chamfer 15°

Waktu Pengelasan (Detik)	Suhu Pengelasan (°C)											Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
1	26,7	26,3	26,8	26,7	26,8	27	27,2	26,9	26,9	26,8	27	26,82727
2	37,2	33,6	35,1	32,9	35,4	31,1	32	35,1	31,1	35,3	31,9	33,7
3	67,4	70,9	74,3	65,1	62,8	70,5	58,5	73,6	57,6	64,5	59,9	65,91818
4	113,1	120,1	139,1	112	103	128	121,1	119,1	132,3	112,6	106,7	118,8273
5	132,8	148,3	157,9	135,2	138,5	153,8	154,7	148,5	149,4	141,2	139,2	145,4091
6	77,2	80	101,1	85,1	93,9	92,9	99,5	81,4	92	104,1	92,3	90,86364
7	59,8	62,1	69,5	65,1	67,5	68,8	72,7	65,7	68,5	74,1	66,6	67,30909
8	53,9	53,2	57,9	57,2	57,3	57,2	62,4	58,5	59,6	62,6	56,4	57,83636
9	50,5	49,1	51,6	51,6	52,7	52,6	54,5	51,9	53,9	57,2	51,1	52,42727
10	47,2	46,8	48,5	47,9	49,2	49,4	51,3	49,1	50,6	53,5	47,7	49,2
11	44,2	44,6	46,7	45	46,4	47	48,9	46,9	47,5	49,8	48,5	46,86364
12	42,1	43	44,8	43,5	44,5	44,4	46,9	45,7	45,5	45,7	44,2	44,57273
13	40,5	39,9	43,2	42,6	42,8	44	45	43,7	43,9	45,2	42,5	43,02727
14	39	39,7	41,6	42	41,9	43,7	43,4	42,2	43	44,6	40,8	41,99091
15	38,1	38,5	41	39,6	40,4	42,1	43,9	41,4	42,1	44,2	39,8	41,00909
16	37,1	37,4	40,5	38,2	39,9	40,2	41,3	40,5	41,3	43	39	39,85455

Tabel Suhu Pengelasan Setiap Detik Variasi *Upset Force* 21 kN Dan Tanpa Sudut *Chamfer*

[illegible]

Tabel Suhu Pengelasan Setiap Detik Variasi Upset Force 21 kN Dan Sudut Chamfer 15°

Waktu Pengelasan (Detik)	Suhu Pengelasan (°C)											Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
1	27,8	27,8	28,7	27,4	27,8	27,7	27,8	27,5	27,4	27,2	27,4	27,68182
2	32,7	35,8	36,3	33,8	33,3	31,6	34,7	36,3	35,7	32,1	36,1	34,4
3	59,1	60,5	70,9	58,7	65,9	64,9	67,3	60,9	67,3	63,8	65,8	64,1
4	112,8	113	128,7	126,7	123,9	139,6	127,5	114,8	112,4	104,6	121,4	120,4909
5	133,9	137	147	147,5	144,2	143,7	153	145,2	149,8	134,8	154,5	144,6
6	90,1	101,6	104	96,8	94,6	96,5	94,4	81,7	103,2	103,6	94,2	96,42727
7	68,8	71,2	74,6	67,4	67,6	70,1	65,4	67,5	77,3	75,5	66,8	70,2
8	59,7	63,6	61,4	56,2	60,5	59,1	57,1	56,8	66,1	64,4	57,7	60,23636
9	53,6	57,7	55,5	50,9	55	53,7	54,4	52	60,1	58,8	51,6	54,84545
10	50,7	51,7	51,8	47,3	52,1	50,4	50,6	49,2	54	55	48,2	51
11	48,3	49,3	49,6	45,5	49,4	47,2	47,4	46,5	51,9	51,2	45,7	48,36364
12	45,7	47,2	47,9	44,3	46,7	45,6	45,7	44,5	49,4	49,3	43,4	46,33636
13	44,6	46,8	45,5	42,5	45,6	44	44,7	43,5	46,6	47	42	44,8
14	43,8	45,6	44,3	41,4	44	43	43,9	42,5	45,8	43,8	40,4	43,5
15	42,3	44	42,7	40,4	42,3	41,9	42,7	40,9	44,4	43,1	39,3	42,18182
16	41,9	43,5	41,6	39,3	41,2	41,1	41,6	39,6	43,4	42,6	38,4	41,29091

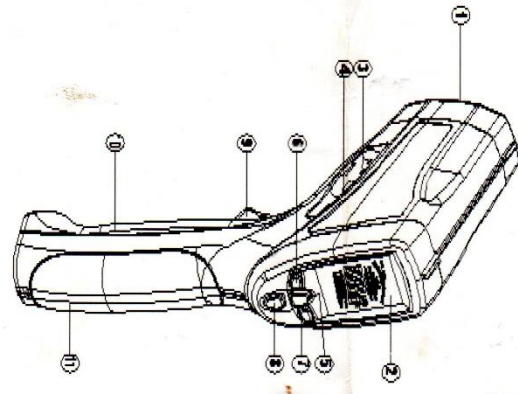
Lampiran 6. Manual Thermo Gun

KRISBOW®

KW0600656

INFRARED THERMOMETER DUAL LASER

-50 -1600DEG



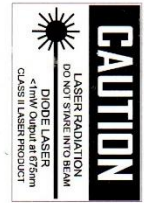
1. Sensor
2. Tampilan LCD
3. masukan untuk Tipe K
4. Masukan untuk USB
5. Tombol lampu/laser
6. Tombol Atas
7. Tombol bawah
8. Tombol mode
9. Tombol Pemicu
10. Penutup Baterai
11. Pegangan tangan

Spesifikasi

Rentang: -50 ~ 1600°C (-58 ~ 2912°F) - 50:1
 Resolusi: 0.1° C/°F < 1000, 1°F > 1000
 Akurasi: temperatur operasi 23-25°C (73-77°F)
 -50 ~ 20°C (-58°F ~ 68°F) : ±2.5°C (4.5°F)
 20~400°C (68°F~752°F): ±1.0%±1.0°C (1.8°F)
 400~800°C (752~1472°F): ±1.5%±2.0°C (3.6°F)
 800~1600°C (1472°F ~ 2912°F) : ±2.5%
 Kemampuan perulangan :
 -50~20°C (-58~68°F) : ±1.3°C (2.3°F)
 20~1200°C (68~2192°F): ±0.8% ±0.5°C (0.9°F)
 1200~1600°C (2192~2912°F): ±1.2%±1.0°C (1.8°F)
 Waktu respons: 150ms
 Respon Skeptum : 8-14um
 Emisivitas: 0.1 - 1.0
 Indikasi ketika melewati rentang ukur: Tampilan di LCD "--"
 Polaritas : Otomatis
 Laser Diode: Keluaran <1mW,Wavelength 630~670nm,
 Class(II) 2 laser
 Temperatur Operasi: 0-50°C (32-122°F)
 Temperatur Penyimpanan: -10 ~ 60°C (14-140°F)
 Kelembaban relatif: 10-90% RH (operasi), <80% RH (penyimpanan)

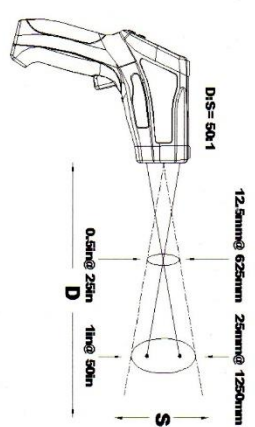
Keselamatan

1. Berhati-hatilah dalam penggunaan bila laser telah menyala
2. Jangan sampai sinar laser menyinari langsung ke mata anda, mata orang lain atau mata hewan
3. Jangan sampai pantulan sinar laser menyinari langsung ke mata anda
4. Jangan sampai sinar laser bersentuhan/bergesekan dengan gas yang mudah meledak



Pegang unit lalu arahkan sensor Infrared ke objek yang akan diukur temperaturnya. Unit biasanya akan menggantikan perbedaan suhu dari suhu lingkungan. Tolong diingat bahwa dibutuhkan 30 menit untuk menyesuaikan dengan pengukuran suhu tinggi. Dan terkadang dibutuhkan beberapa menit setelah pengukuran temperatur rendah dan sebelum pengukuran temperatur tinggi. Hal ini adalah hasil dari proses pendinginan yang harus ada bagi sensor Infrared

Pastikan target lebih besar daripada titik ukur, semakin kecil target berarti jarak anda terhadap objek harus lebih dekat, dan untuk akurasi yang lebih maka pastikan target lebih besar 2 kali daripada titik ukur



Lampiran 7. Surat Keterangan Pengujian Puntir di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MALANG**

JURUSAN TEKNIK MESIN

Jalan Soekarno Hatta 9 Malang 65141

Telepon (0341) 404424 – 404425 Fax. (0341) 404420

<http://www.polinema.ac.id>



SURAT KETERANGAN

No. 0187/TM/KM/2017

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Ir. Kasijanto, MT
NIP : 19580815 199003 1 001
Pangkat / Golongan : Lektor Kepala / IVa
Jabatan : Ketua Jurusan

dengan ini menerangkan bahwa,

Nama : David Febri Alfian
NIM : 125060201111018
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

Benar-benar telah melaksanakan pengujian puntir di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 06 sampai 08 Desember 2017, guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



08 Desember 2017
Ketua Jurusan,
Ir. Kasijanto, MT.
19580815 199003 1 001